

Investigation of *Pseudomonas aeruginosa* removal from drinking water using photo-electrochemical method

Giti Kashi^{1*}, Niloufar Hejazimehr², Saeid Yavarpour³

1. Department of Environmental Health, Faculty Health, Islamic Azad University, Branch of Medical, Tehran, Iran

2. Bachelor of Environmental Health

3. Student of Department of Environmental and Energy, Science and research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

ABSTRACT

Background and Aims: Water disinfection by electrochemical methods is widely used in the recent years. The goal of this research is to investigate of *Pseudomonas aeruginosa*, as a source of nosocomial infection caused by waterborne bacteria, removal from drinking water by batch photoelectrochemical reactor using zinc-copper electrode and lamp emitting dynode UV-A lamp.

Materials and Methods: In this study, the contaminated water sample was prepared through adding 10^2 and 10^3 *P. aeruginosa* per ml of drinking water. Different conditions were studied, including pH (6-8), number of bacteria (10^2 - 10^3 per milliliter), radiation time (7.5-45 min), lamp intensity (360-600 mW / cm²), distance between lamp and electrode (1.5 cm), and current density (3-9 mW / cm²).

Results: In electrochemical reactor, percentage of 10^3 bacterium / ml removal in distance 1.5 cm, current density 6 mW / cm² and electrolysis time 7.5 min in pHs 6, 7, and 8 were obtained 95%, 96.5%, and 95.9%, respectively. In electrochemical reactor, percentage of 10^2 bacteria / ml removal in distance 1.5 cm, current density 6 mW / cm² and electrolysis time 7.5 min in pHs 6, 7, and 8 were obtained 95.2%, 100%, and 100%, respectively. In photoelectrochemical reactor, percentage of 10^3 bacterium / ml removal in distance between lamp and electrode 1.5 cm, radiation intensity 600 mW/cm², current density 6 mW / cm², and radiation time 7.5 min in pHs 6, 7, and 8 were obtained 96%, 100%, and 100%, respectively. In photoelectrochemical reactor, percentage of 10^2 bacteria / ml removal in distance between lamp and electrode 1.5 cm, radiation intensity 600 mW/cm², current density 6 mW / cm² and radiation time 7.5 min in pHs 6, 7, and 8 were obtained 100%, 100%, and 100%, respectively.

Conclusion: The findings indicated that bacterium removal efficiency was increased with increasing current density, increasing radiation time, increasing lamp intensity, and decreasing number of bacteria.

Key words: Bacterium, Disinfection, Drinking water, Photo electrochemical, *Pseudomonas aeruginosa*

*Corresponding Author:

Department of Environmental Health, Faculty Health, Islamic Azad University, Branch of Medical, P.O Box, 1916893813, Tehran, Iran

Tel: +982122006667

Email: g.kashi@yahoo.com

Received: 7 Oct. 2013

Accepted: 13 Jan. 2014

بررسی حذف باکتری پseudomonas آئروژینوزا از آب آشامیدنی به روش فوتوالکتروشیمیایی

گیتی کاشی^{۱*}، نیلوفر حجازی مهر^۲، سعید یاورپور^۳

^۱ استادیار گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و مهندسی پزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد پزشکی تهران

^۲ کارشناس بهداشت محیط

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست گرایش آب و فاضلاب

چکیده

زمینه و هدف: میکروب زدائی آب به روش الکترولیز در سال‌های اخیر رو به گسترش است. هدف در این تحقیق بررسی تعیین درصد حذف باکتری پseudomonas آئروژینوزا، از آب آشامیدنی توسط رآکتور ناپیوسته فوتوالکتروشیمیایی مرکب از الکترودهای روی-مس و لامپ فرابنفش A از نوع نشری دیودی (LED) می باشد.

مواد و روش ها: نمونه آب آشامیدنی دارای باکتری پseudomonas آئروژینوزا تهیه گردید. کارایی حذف در حالت مختلف متغیرهای pH (۶-۸)، زمان تابش (۴۵-۷۵ دقیقه)، شدت لامپ (۳۶۰-۶۰۰ میلی وات بر سانتی متر مربع)، فاصله لامپ با الکترود (۱/۵ سانتی متر)، تعداد باکتری (۱۰^۲-۱۰^۳ CFU) و چگالی جریان (۳-۹ mA/cm^۲) مورد بررسی قرار گرفت.

یافته ها: میزان حذف ۱۰^۳ عدد باکتری پseudomonas آئروژینوزا در میلی لیتر در فاصله ۱/۵ سانتی متر، چگالی جریان ۶ mA/cm^۲ و زمان الکترولیز ۷/۵ دقیقه در pH های ۶، ۷ و ۸ به ترتیب ۹۵/۵٪، ۹۶/۵٪ و ۹۵/۹٪ در سیستم الکتروشیمیایی بدست آمد. مقدار حذف ۱۰^۲ عدد باکتری پseudomonas آئروژینوزا در میلی لیتر در فاصله ۱/۵ سانتی متر، چگالی جریان ۶ mA/cm^۲ و زمان الکترولیز ۷/۵ دقیقه در pH های ۶، ۷ و ۸ به ترتیب ۹۵/۲٪، ۱۰۰٪ و ۱۰۰٪ در سیستم الکتروشیمیایی بدست آمد. میزان حذف ۱۰^۳ عدد باکتری پseudomonas آئروژینوزا در میلی لیتر در فاصله ۱/۵ سانتی متر لامپ با الکترود، شدت تابش ۶۰۰ mW/cm^۲، چگالی جریان ۶ mA/cm^۲ و زمان ۷/۵ دقیقه در pH های ۶، ۷ و ۸ به ترتیب ۹۶٪، ۱۰۰٪ و ۱۰۰٪ در سیستم فوتوالکتروشیمیایی بدست آمد. مقدار حذف ۱۰^۲ عدد باکتری پseudomonas آئروژینوزا در میلی لیتر در فاصله ۱/۵ سانتی متر لامپ با الکترود، شدت تابش ۶۰۰ mW/cm^۲، چگالی جریان ۶ mA/cm^۲ و زمان ۷/۵ دقیقه در pH های ۶، ۷ و ۸ به ترتیب ۱۰۰٪، ۱۰۰٪ و ۱۰۰٪ در سیستم فوتوالکتروشیمیایی بدست آمد.

نتیجه گیری: یافته ها نشان دادند که میزان حذف باکتری با افزایش چگالی جریان، افزایش مدت زمان تابش، افزایش شدت لامپ و افزایش pH افزایش می یابد.

کلید واژه ها: آب آشامیدنی، باکتری، پseudomonas آئروژینوزا، فوتوالکتروشیمیایی، گندزدایی

*آدرس نویسنده مسئول:

تهران، خیابان شریعتی، خیابان عطاری مقدم، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد پزشکی تهران، گروه بهداشت محیط - تلفن تماس ۰۲۱-۲۲۰۰۶۶۶۷

Email: g.kashi@yahoo.com

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۷/۱۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۱۰/۲۳

مقدمه

کیفیت آب آشامیدنی تصفیه شده باید از مقررات سخت در مورد آلاینده‌های شیمیایی و میکروبی پیروی کند [۱]. پseudomonas آئروژینوزا باکتری فرصت طلب مقاوم به حداقل دو نوع عامل ضدمیکروبی است که برای مدت طولانی در شبکه آب باقی می‌ماند [۲]. پseudomonas آئروژینوزا، رده گاما پروتئوباکتری‌ها، عامل ۲۰-۱۰ درصد شیوع عفونت بیمارستانی به خصوص در بیماران مبتلا به سوختگی شدید محسوب می‌شود [۳ و ۴]. متداول ترین روش میکروب زدایی شیمیایی آب آشامیدنی، کلرزنی است که به تشکیل فرآورده‌های جانبی خطرناک منجر می‌شود. روش‌های جایگزین از قبیل ازن زنی و تابش فرابنفش مورد استفاده قرار می‌گیرند که از هزینه نسبتاً بالایی برخوردار هستند [۵]. بنابراین، استفاده از فناوری‌های کارآمدتر برای میکروب زدایی آب و اجتناب از تشکیل شدن فرآورده‌های جانبی گندزدایی ضرورت دارد [۶]. اخیراً روش الکتروشیمیایی، به عنوان روش امیدبخش در میکروب زدایی آب مد نظر قرار گرفته است [۷]. فناوری الکتروشیمی، واحد فرآیندی محسوب می‌شود که معدنی شدن باکتری در اثر واکنش‌های انتقال الکترون در سطح مشترک الکتروود و آب اتفاق می‌افتد [۸]. عوامل موثر بر روی عملکرد فرآیند فوتوالکتروشیمیایی شامل شدت لامپ، جذب و تفرق نور می‌باشد [۹ و ۱۰]. مزایای حذف باکتری به روش فوتوالکتروشیمیایی عبارتند از: مصرف انرژی کم و روش تصفیه پاک [۱۱]. عمل اکسیداسیون و احیا در فرآیند فوتوالکتروشیمیایی به ترتیب بر روی الکترودهای آند و کاتد همراه با تولید پراکسید هیدروژن در کاتد، تولید ازن و رادیکال هیدروکسیل در آند انجام می‌شود [۱۲]. بسیاری از محققان در مورد عملکرد فوتوالکتروشیمیایی در حذف باکتری اشرشیا کلی، اسپور کلسترییدیوم پرفرینجینس و اسیست کریپتوسپوریدیوم پاوروم از آب آشامیدنی تحقیق نموده‌اند. برای مثال تاداشی و همکاران در سال ۱۹۹۲ بر روی حذف باکتری اشرشیا کلی، باسیلوس سوبتی لیس، پseudomonas آئروژینوزا و استافیلوکوک اورئوس توسط الکتروشیمیایی تحقیق نموده و متوجه شدند که جلوگیری از رشد باکتری‌ها نیاز به جریان ۶۰ میلی آمپر دارد [۱۳]. کرافت در سال ۲۰۰۸ روی حذف اشرشیا کلی، پseudomonas آئروژینوزا و لژیونلا توسط الکتروشیمیایی تحقیق نموده و متوجه شد که روش الکترولیز به عنوان یک روش جایگزین در گندزدایی آب خنک کننده بر علیه باکتری‌ها محسوب می‌شود [۱۴]. هدف در این تحقیق بررسی حذف پseudomonas آئروژینوزا از آب

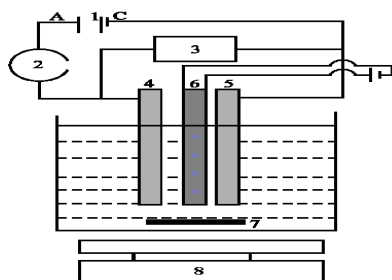
آشامیدنی شهری به روش فوتوالکتروشیمیایی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

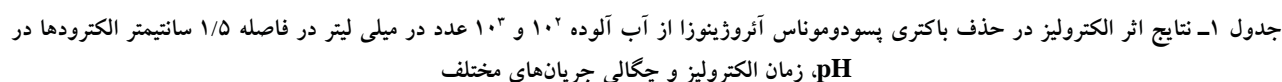
تهیه سوسپانسیون باکتری پseudomonas آئروژینوزا
در این تحقیق از استاندارد پseudomonas آئروژینوزا (ATCC 27853) استفاده شد. باکتری لیوفیلیزه با تزریق چند میلی لیتر از محیط کشت استریل مغز و قلب آگار (BHI) تهیه گردید. چند میلی لیتر از سوسپانسیون باکتری به محیط کشت BHI تلقیح و جهت کشت به انکوباتور شیکردار با سرعت ۱۲۰ rpm منتقل شد. پس از ۲۴ ساعت که باکتری‌ها در داخل محیط کشت رشد کردند. سوسپانسیون باکتری جهت تهیه کشت تازه در محیط کشت آگار مغذی تلقیح و کلنی‌های باکتری پس از رشد جداسازی شده و در یخچال نگهداری گردیدند. پس از تلقیح باکتری در محیط کشت BHI برات و گرمخانه گذاری در دمای ۳۵ °C با استفاده از سانتریفیوژ $5000 \times g$ به مدت ۱۵ دقیقه اقدام به جدا سازی جرم باکتری شد. دانسیته نوری سوسپانسیون سلول توسط اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۰۰ nm اندازه گیری گردید. با انجام رقیق سازی (با نسبت ۱ به ۷۵۰۰ و ۷۵۰) تعداد باکتری پseudomonas آئروژینوزا دارای ۱۰۲ و ۱۰۳ عدد در میلی لیتر آب حاصل شد [۱۵ و ۱۶].

آماده سازی رآکتور ناپیوسته

رآکتور ناپیوسته با مشخصات زیر جهت انجام آزمایشات مورد استفاده قرارگرفت. ظرف پیرکس ۳۶۰ میلی لیتر، دو الکتروود روی و مس دارای مساحت ۳۶ سانتیمتر مربع، فاصله الکترودها از کف ۱ سانتیمتر، فاصله لامپ با الکتروود روی (۱/۵ سانتیمتر) و نسبت سطح الکتروود به حجم رآکتور ۲۰ می‌باشد. لامپ فرابنفش نوع A LED دارای توان ۱۲۰ میلی وات بر سانتی متر مربع مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۱). حجم آب ۲۰۰ میلی لیتر در نظر گرفته می‌شد [۱۷].



شکل ۱- طرح شماتیک از رآکتور ناپیوسته فوتوالکتروشیمیایی
۱- منبع تغذیه ۲- آمپرسنج (۵-۱ آمپر) ۳- ولت سنج (۶۰-۱ ولت)
۴- الکتروود مس قطب منفی ۵- الکتروود روی قطب مثبت
۶- لامپ فرابنفش ۷- میله مغناطیسی ۸- همزن مغناطیسی



درصد راندامان حذف باکتری در pH معادل ۸				درصد راندامان حذف باکتری در pH معادل ۷				درصد راندامان حذف باکتری در pH معادل ۶				چگالی جریان (mA/cm ²)	تعداد باکتری (/ml)
زمان تابش (min)				زمان تابش (min)				زمان تابش (min)					
۴۵	۳۰	۱۵	۷/۵	۴۵	۳۰	۱۵	۷/۵	۴۵	۳۰	۱۵	۷/۵		
۱۰۰	۹۸/۵	۸۹/۹	۷۰/۱	۱۰۰	۹۸/۶	۹۵/۴	۷۹/۹	۱۰۰	۹۸/۳	۸۹/۲	۶۸	۳	
۱۰۰	۱۰۰	۹۹/۰	۹۰/۹	۱۰۰	۱۰۰	۹۹/۳	۹۶/۵	۱۰۰	۱۰۰	۹۹	۹۵	۶	۱۰۰۰
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹	
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۳/۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۹/۵	۱۰۰	۹۹/۰	۹۴/۵	۷۸/۵	۳	
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۹/۷	۹۵/۲	۶	۱۰۰
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹	

اثر تعداد: کارایی فرآیند حذف با افزایش تعداد باکتری پسودوموناس آئروژینوزا از 10^2 به 10^3 عدد در میلی‌لیتر در راکتور ناپیوسته الکتروشیمیایی، فوتوراکتور و فوتوالکتروشیمیایی کاهش می‌یابد (نمودار ۱).

جدول ۲- نتایج اثر لامپ فرابنفش A از نوع LED در حذف باکتری پseudomonas آئروژینوزا از آب آلوده ۱۰^۲ و ۱۰^۳ عدد در میلی لیتر در فاصله ۱/۵ سانتیمتر لامپ تا سطح نمونه در pH، زمان تابش و شدت‌های مختلف لامپ

تعداد باکتری (/ml)	شدت (mW/cm ²)	درصد راندمان حذف باکتری در pH معادل ۶				درصد راندمان حذف باکتری در pH معادل ۷				درصد راندمان حذف باکتری در pH معادل ۸			
		زمان تابش (min)				زمان تابش (min)				زمان تابش (min)			
۱۰۰۰	۳۶۰	۰	۲/۵	۴	۵	۰	۳/۵	۵	۶	۰	۴/۵	۱۵	۳۰
	۶۰۰	۰	۴/۵	۵/۵	۶/۵	۰	۶	۷	۸	۰	۴/۵	۷/۵	۹/۵
۱۰۰	۳۶۰	۰	۳	۵	۶	۰	۴	۶	۷	۰	۴	۶/۵	۹
	۶۰۰	۰	۶	۷	۸	۵	۷	۸	۹	۵	۷/۵	۱۰	۱۲

پseudomonas آئروژینوزا از ۱۰^۲ به ۱۰^۳ عدد در میلی لیتر در pH معادل ۸، چگالی جریان ۳ میلی آمپر بر سانتیمتر مربع، شدت ۶۰۰ میلی وات بر سانتیمتر مربع و فاصله لامپ تا سطح نمونه ۱/۵ سانتیمتر به افزایش زمان تابش حدود ۷/۵ دقیقه به حدود ۱۵ دقیقه به ۱۰۰٪ مرگ منجر می‌شود (جدول ۳).

راندمان حذف با تعداد ۱۰^۳ عدد باکتری پseudomonas آئروژینوزا در میلی لیتر در فوتوراکتور در مقدار شدت ۶۰۰ میلی وات بر سانتیمتر مربع، فاصله لامپ تا سطح نمونه ۱/۵ سانتیمتر و زمان تابش ۳۰ دقیقه در pH ۶، ۷ و ۸ به ترتیب ۷/۵٪، ۹/۵٪ و ۱۰۰٪ بدست آمد. افزایش تعداد باکتری

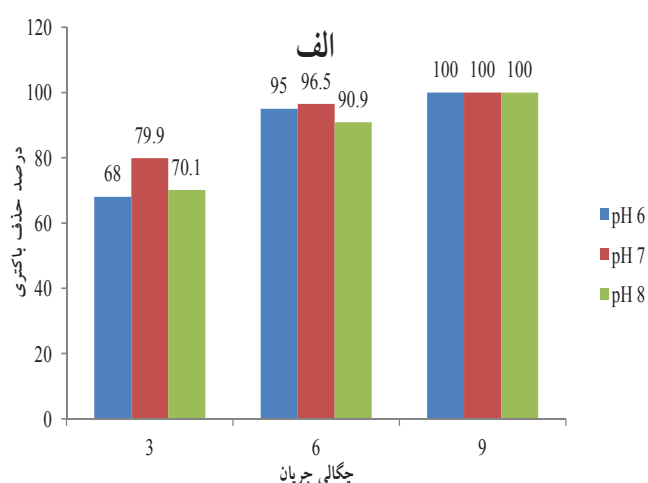
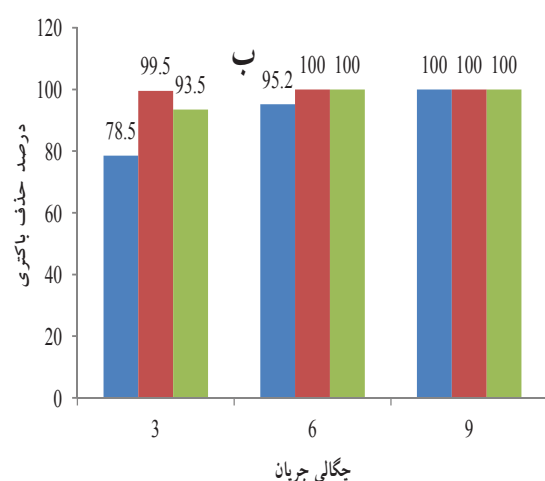
جدول ۳- نتایج اثر الکتروشیمیایی و لامپ فرابنفش A (LED) با شدت ۶۰۰ میلی وات بر سانتی متر مربع در حذف باکتری پseudomonas آئروژینوزا از آب آلوده ۱۰^۲ و ۱۰^۳ عدد در میلی لیتر در فاصله ۱/۵ سانتیمتر لامپ با الکتروود در pH، زمان تابش و چگالی جریان‌های مختلف

تعداد باکتری (/ml)	چگالی جریان (mA/cm ²)	درصد راندمان حذف باکتری در pH معادل ۶			درصد راندمان حذف باکتری در pH معادل ۷			درصد راندمان حذف باکتری در pH معادل ۸		
		زمان تابش (min)			زمان تابش (min)			زمان تابش (min)		
۱۰۰۰	۳	۷۶/۵	۹۵	۱۰۰	۸۹/۵	۱۰۰	۱۰۰	۷۷/۵	۱۰۰	۱۰۰
	۶	۹۶	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
	۹	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۱۰۰	۳	۸۸/۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
	۶	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
	۹	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

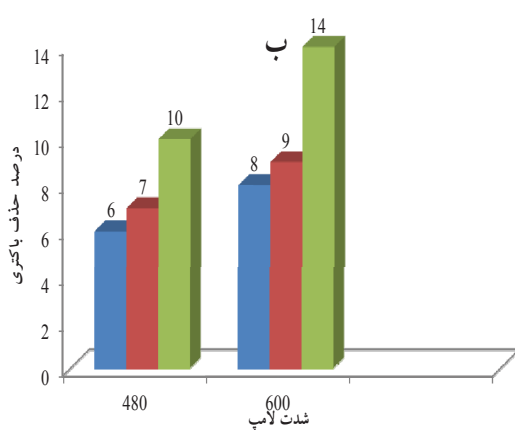
لامپ و زمان تابش در ۱۰^۲ و ۱۰^۳ عدد باکتری پseudomonas آئروژینوزا در میلی لیتر افزایش می‌یابد (جدول‌های ۱-۳). بهترین چگالی جریان در راکتور الکتروشیمیایی برای دست یابی به حذف کامل پseudomonas آئروژینوزا در pH ۶، ۷ و ۸، ۹ میلی آمپر بر سانتی متر مربع به ترتیب برای تعداد ۱۰^۲ و ۱۰^۳ باکتری پseudomonas آئروژینوزا در میلی لیتر است. بهترین شدت لامپ در فوتوراکتور برای دست یابی به حداکثر حذف پseudomonas آئروژینوزا در pH ۶، ۷ و ۸، ۶۰۰ میلی وات بر سانتی متر مربع به ترتیب برای تعداد ۱۰^۲ و ۱۰^۳ باکتری پseudomonas آئروژینوزا در میلی لیتر است. بهترین زمان تابش برای دست یابی به ۱۰۰٪ حذف ۱۰^۳ پseudomonas آئروژینوزا در pH ۶، ۷ و ۸، چگالی جریان ۶ میلی آمپر بر سانتی متر مربع و فاصله ۱/۵ سانتی متر لامپ با الکتروود به ترتیب حدود ۱۵ دقیقه، حدود ۷/۵ دقیقه و حدود ۷/۵ دقیقه می‌باشد.

راندمان حذف با تعداد ۱۰^۳ عدد باکتری پseudomonas آئروژینوزا در میلی لیتر در فاصله ۱/۵ سانتیمتر لامپ با الکتروود، شدت تابش ۶۰۰ میلی وات بر سانتیمتر مربع، چگالی جریان ۶ میلی آمپر بر سانتیمتر مربع و زمان تابش ۷/۵ دقیقه در pH ۶، ۷ و ۸ به ترتیب ۹۶٪، ۱۰۰٪ و ۱۰۰٪ در راکتور فوتوالکتروشیمیایی بدست آمد.

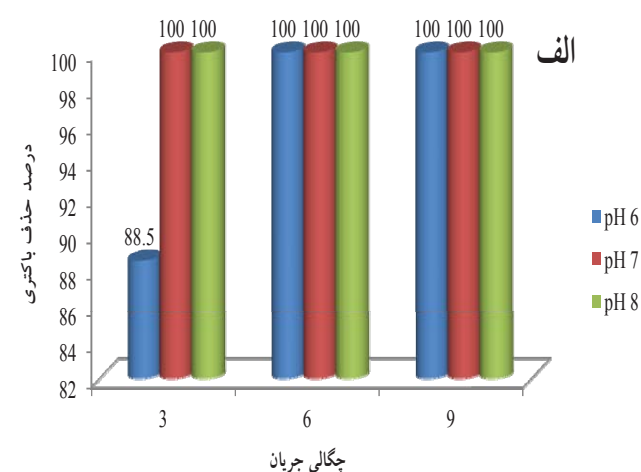
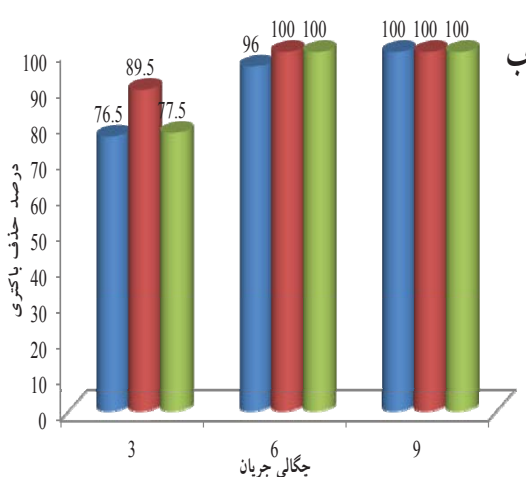
اثر pH: کارایی فرآیند حذف باکتری در راکتورهای الکتروشیمیایی و فوتوالکتروشیمیایی با افزایش pH از ۶ به ۷ در هر دو تعداد ۱۰^۲ و ۱۰^۳ عدد باکتری پseudomonas آئروژینوزا در میلی لیتر افزایش و در pH معادل ۸ کاهش می‌یابد (نمودار ۱). pH معادل ۷ به چگالی جریان و شدت لامپ کمتری در مقایسه با دو pH دیگر نیاز دارد. **اثر چگالی جریان الکتریکی:** کارایی فرآیند حذف باکتری پseudomonas آئروژینوزا با افزایش چگالی جریان، شدت



نمودار ۲ - درصد حذف باکتری پسودوموناس آئروژینوزا در سیستم الکترولیز (الف) 10^3 عدد در میلی لیتر، (ب) 10^2 عدد در میلی لیتر در زمان الکترولیز ۷/۵ دقیقه، فاصله بین الکترودهای ۱/۵ سانتیمتر و چگالی جریانهای مختلف



نمودار ۳ - درصد حذف باکتری پسودوموناس آئروژینوزا در فوتورآکتور (الف) 10^3 عدد در میلی لیتر، (ب) 10^2 عدد در میلی لیتر در زمان تابش ۴۵ دقیقه، فاصله لامپ تا سطح نمونه ۱/۵ سانتی متر و شدت‌های مختلف لامپ



نمودار ۴ - درصد حذف باکتری پسودوموناس آئروژینوزا در فوتوالکتروشیمیایی (الف) 10^3 و (ب) 10^2 عدد در میلی لیتر در زمان تابش ۷/۵ دقیقه، شدت تابش ۶۰۰ میلی وات بر سانتی متر مربع و pH و چگالی جریانهای مختلف

بحث

برطبق نتایج حاصل از بررسی تعداد 10^2 و 10^3 عدد باکتری پسودوموناس آئروژینوزا در میلی لیتر روی کارایی حذف، می توان نتیجه گیری نمود که کارایی حذف به دلیل افزایش تعداد باکتری در مقابل چگالی جریان و مقدار ثابت مواد شیمیایی تولید شده نظیر تولید هیدروژن در کاتد کاهش یافته است. گستره افزایش pH در رآکتور الکترولیز $0/3$ الی 2 واحد و گستره کاهش پتانسیل اکسیداسیون و احیا 20 الی 100 میلی ولت می باشد. این یافته تحقیق با تحقیق انجام گرفته توسط کوین در سال 2003 و هاتی و همکاران در سال 2012 مطابقت دارد [۱۸]. کوین نشان داد که افزایش باکتری اشرشیا کلی از 10^2 به 10^6 عدد در میلی لیتر در مدت الکترولیز 5 دقیقه و شدت جریان الکتریکی 5 میلی آمپر به کاهش حذف 50% منجر می شود [۱۹]. در خصوص بررسی کارایی حذف باکتری پسودوموناس آئروژینوزا در سه pH 6 ، 7 و 8 می توان بیان نمود که افزایش واکنش های شیمیایی در pH معادل 7 به حداکثر تغییرات متابولیسمی و تولید آدنوزین تری فسفات ناشی از افزایش انتقال الکترون بین باکتری و الکتروود منجر می شود. این یافته تحقیق با تحقیق انجام گرفته توسط لن و همکاران در سال 2002 مطابقت دارد [۲۰]. افزایش pH به طور قابل توجهی به افزایش تولید انواع اکسید کننده های واکنشگر در سیستم منجر می شود. این یافته تحقیق با تحقیق انجام گرفته توسط کرویک و همکاران در سال 2005 مطابقت دارد. این محقق نشان داد که افزایش pH از $5/5$ به 8 به نفع تولید رادیکال هیدروکسیل در سیستم الکتروشیمیایی مرکب از پلاتینوم - نوبیدیوم بر علیه باکتری اشرشیا کلی و باکتریوفاژ MS2 منجر می شود [۲۱]. ملاحظات ناشی از تغییرات چگالی جریان و مدت زمان الکترولیز تایید کننده این نتیجه گیری است که کارایی حذف باکتری پسودوموناس آئروژینوزا در سه pH 6 ، 7 و 8 وقتی چگالی جریان و مدت زمان الکترولیز افزایش می یابد افزایش می یابد. افزایش چگالی جریان و مدت زمان الکترولیز به علت تولید زیاده تر انواع اکسیژن واکنشگر ناشی از الکترولیز نظیر رادیکال هیدروکسیل، ازن و پراکسید هیدروژن در الکتروود به افزایش کارایی گندزدایی منجر می شود. فرآورده های مورد نظر مسئول گندزدایی آب محسوب می شوند. این مطالعات با مطالعه انجام گرفته توسط جیونگ و همکاران در سال 2007 مطابقت دارد [۲۲]. رحمانی نشان داد که افزایش ولتاژ از 8 ولت به 25 ولت به افزایش راندمان حذف باکتری با تعداد 1 کلنی در لیتر منجر می شود [۱۷]. کوین نشان داد که نابودی

باکتری با تعداد 10^2 و 10^6 عدد در میلی لیتر در شدت جریان الکتریکی 5 میلی آمپر به ترتیب به مدت الکترولیز 5 و 10 دقیقه نیاز دارد [۱۹]. برطبق نتایج حاصل از بررسی کارایی حذف باکتری پسودوموناس آئروژینوزا در سه pH 6 ، 7 و 8 وقتی مدت تابش از $7/5$ به 45 دقیقه و شدت لامپ از 360 به 600 میلی وات بر سانتی متر مربع تغییر محسوسی نمی کند. این یافته تحقیق با تحقیق انجام گرفته توسط لونن و همکاران در سال 2005 مطابقت دارد. این محقق نشان داد که به وسیله پرتو فرابنفش A در طول موج 400 نانومتر، شدت 200 وات بر متر مربع در زمان تابش 150 دقیقه می توان به کاهش $5/5$ - واحد لگاریتمی باکتری اشرشیا کلی دست یافت. این محقق نشان داد که افزایش شدت لامپ به افزایش حذف باکتری اشرشیا کلی منجر می شود. این یافته تحقیق با تحقیق انجام گرفته توسط لونن و همکاران در سال 2005 مطابقت دارد [۲۳]. افزایش شدت لامپ و افزایش pH به غلظت زیاده تر رادیکال هیدروکسیل منجر می شود و می توان زمان تماس را کاهش داد. این یافته تحقیق با تحقیق انجام گرفته توسط کوهن و همکاران در سال 2006 مطابقت دارد [۱۲]. در خصوص بررسی کارایی حذف باکتری پسودوموناس آئروژینوزا در سه pH 6 ، 7 و 8 می توان بیان نمود که ارتباط مستقیم بین کارایی حذف باکتری و pH وجود دارد. پل و همکاران در سال 2005 نشان دادند که افزایش شدت تابش فرابنفش A از 18 به 63 وات بر متر مربع به کاهش لگاریتمی 1 تا 2 برابر به ترتیب در مخلوط باکتری اسپوردار و باکتری رویشی منجر می شود [۲۴]. برطبق نتایج حاصل از بررسی کارایی حذف باکتری پسودوموناس آئروژینوزا در سه pH 6 ، 7 و 8 و شدت لامپ فرابنفش A 600 میلی وات بر سانتی متر مربع، وقتی مدت تابش از $7/5$ دقیقه به 45 دقیقه و چگالی جریان از 3 به 9 میلی آمپر بر سانتی متر مربع افزایش می یابد، افزایش کارایی مشاهده می شود. این یافته تحقیق با تحقیق انجام گرفته توسط تای-چنگ و همکاران در سال 2002 مطابقت دارد. این محقق نشان داد که به وسیله پرتو فرابنفش A، شدت $6/64$ میلی وات بر سانتی متر مربع با افزایش زمان تابش از صفر به 30 دقیقه می توان به کاهش رنگ متیلن بلو دست یافت و نیز کارایی حذف رنگ متیلن بلو به وسیله فرآیند فوتوالکتروشیمیایی (95%) بیش از فرآیند الکتروشیمیایی (78%) می باشد [۲۵]. گائو در سال 2008 نشان داد که ولتاژ $0/3$ و فرابنفش موثرتر از ولتاژ $0/3$ در کاهش رنگ متیلن بلو می باشد [۲۶]. می توان نتیجه گرفت اثر تلفیقی الکتروشیمیایی و پرتو فرابنفش A به کاهش

این یافته تحقیق با تحقیق انجام گرفته توسط کوهن و همکاران در سال ۲۰۰۶ مطابقت دارد [۱۲].

نتیجه گیری و پیشنهادات

نتایج نشان داد که گندزدایی آب آلوده به پسودوموناس آئروژینوزا با استفاده از رآکتور فوتوالکتروشیمیایی ناپیوسته عملی است و رآکتور ناپیوسته فوتوالکتروشیمیایی موثرتر از رآکتور ناپیوسته الکتروشیمیایی است. به طور قابل توجهی افزایش شدت لامپ به افزایش راندمان حذف باکتری منجر می شود. برای مطالعات آینده پیشنهاد می شود اثر تشدیدکنندگی ترکیب رآکتور ناپیوسته فوتوالکتروشیمیایی با انواع الکترودهای دیگر در حضور دیگر عوامل ضد میکروبی نیز بررسی گردد.

زمان تابش و افزایش راندمان حذف باکتری پسودوموناس آئروژینوزا منجر می شود. افزایش مدت تابش به علت تولید زیاده تر فرآورده های انواع اکسیژن و اکشنگر مسئول گندزدایی به افزایش کارایی الکتروشیمیایی منجر می شود. افزایش تولید جریان فوتون آندی پس از تابش سل فوتوالکتروشیمیایی کارایی جمع آوری بار سطح الکتروود را نشان می دهد. این یافته تحقیق با تحقیق انجام گرفته توسط گائو در سال ۲۰۰۸ مطابقت دارد [۲۶]. همچنین برگمن در سال ۲۰۰۲ نشان داد که تلفیق فرابنفش و الکتروشیمیایی روش جایگزین مناسب برای گندزدایی آب می باشد [۲۷]. پرتو فرابنفش A می تواند پراکسید هیدروژن و رادیکال هیدروکسیل را تولید کند که به جهش زایی سلول باکتری منجر می شوند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از حمایت آزمایشگاهی گروه مهندسی بهداشت محیط دانشگاه آزاد اسلامی واحد پزشکی تهران تشکر و قدردانی می نمایند.

REFERENCES

1. Belhacova L, Krysa J, Geryk J., Jirkovsky J. Inactivation of microorganisms in a flow-through photoreactor with an immobilized TiO_2 layer. Journal Chemical Technology and Biotechnology 1999; 74: 149-154.
2. Elias J, Anaissie MD, Scott R, Penzak PD, Cecilia M, Dignani MD. The hospital water supply as a source of nosocomial infections. Archintern International Medical 2002; 162: 1483-1492.
3. Bitton G. Wastewater microbiology. 3rd ed. New yourk: John Wiley & Sons Inc 2005; P: 123.
4. Trautmann M, Michalsky T, Heidemarie W, Radosavljevic V, Ruhnke M. Tap water colonization with *Pseudomonas aeruginosa* in a surgical intensive care unit (ICU) and relation to *Pseudomonas* infections of ICU patients. Infection Control Hospital Epidemiology 2001; 22: 49-52.
5. Wolfe RL. Ultraviolet disinfection of potable water. Environmental Science and Technology 1990; 24: 768-773.
6. Chong MN, Jin B, Zhu H, Saint C. Bacterial inactivation kinetics, regrowth and synergistic competition in a photocatalytic disinfection system using anatase titanate nanofiber catalyst. Journal of Photochemical and Photobiological A: Chemical 2010; 214: 1-9.
7. Mahamunia NN, Adewuyi YG. Advanced oxidation processes (AOPs) involving ultrasound for waste water treatment :A review with emphasis on cost estimation. Ultrasonics Sonochemistry 2010; 17: 990-1003.
8. Liou YH, Lo SL, Lin CJ, Hui Kuan WH, Weng SC. Chemical reduction of an unbuffered nitrate solution using catalyzed and uncatalyzed nanoscale iron particles. Journal of Hazardous Materials B. 2005; 127: 102-110.

9. Jara CC, Martínez-Huitle CA, Torres-Palma RA. Distribution of Nitrogen Ions Generated in the Electrochemical Oxidation of Nitrogen Containing Organic Compounds. *Portugaliae Electrochemical Acta* 2009; 27(3): 203-213.
10. Christensen PA, Curtis TP, Egerton TA, Kosa SAM, Tinlin JR. Photoelectrocatalytic and photocatalytic disinfection of E. coli suspensions by titanium dioxide. *Applied Catalysis B: Environmental* 2003; 41: 371-386.
11. EPA. Amunition and explosive safety standard. EPA 2003; P: 148-154.
12. Kuhen KP, Chabermey IF, Massholder K, Stickler M, Benz VW, Sonntag HG, "et al". Disinfection of surfaces by photocatalytic oxidation with titanium dioxide and UV A light. *Chemospher* 2003; 53: 71-77.
13. Tadashi MA, Satoshi N, TakamuKa T, Grant BJ, Noriyuki N, Koji S. Disinfection of drinking water by using a novel electrochemical reactor employing carbon-cloth electrodes. *Appl. Environmental Microbiology* 1992; 58: 680-689.
14. Kraft A. Electrochemical water disinfection: A short review. *Platinum Metals Review* 2008; 52 (3): 177-185.
15. Lorian V. Antibiotic in laboratory medicine. 4nd ed. New yourk: Williams & Wilkins Inc 1996; P: 453-501.
16. Baron EJ, Finegold SM. Diagnostic Microbiology. 8nd ed. New yourk: CV Mosby Inc 1990; P: 173.
17. Rahmani AR, Jonidi Jafari A, Mahvi AH. Investigation of water disinfection by electrolysis. *Pakistanian Journal Biology Science*. 2005; 8 (6): 910-913.
18. Hati S, Mandal S, Minz PS, Vij S, Khetra Y, Singh BP. Non-thermal approach for decontamination of food borne microorganisms in food industry. *Food and Nutrition Science* 2013; 3: 760-768.
19. Kevin PD, Abbaszadegan M, Maire RM. Comparative electrochemical inactivation of bacteria and bacteriophage. *Applied Environmental Microbiology* 2003; 37: 2291-2300.
20. Len SV, Hung YC, Erickson M. Ultraviolet spectrophotometric characterization and bactericidal properties of electrolyzed oxidizing water as influenced by amperage and pH. *Journal of food protection* 2000; 63 (11): 1534-1537.
21. Kerwick MI, Reddy SM, Chamberlain AHL, Holt DM. Electrochemical disinfection, an environmentally acceptable method of drinking water disinfection. *Electrochemical Acts* 2005; 50: 5270-5277.
22. Jeong J, Kim JY, Cho M, Choi W, Yoon J. Inactivation of Escherichia coli in the electrochemical disinfection process using a Pt anode. *Chemosphere* 2007; 67: 652-659.
23. Lonnen J, Kilvington S, Kehoe SC, Al-Touati F, Mc Guigan KG. Solar and photocatalytic disinfection of protozoan, fungal and bacterial microbes in drinking water. *Water Research* 2005; 39: 877-883.
24. Pal A, Min X, Yu LE, Pehkonen SO, Ray MB. Photocatalytic inactivation of bioaerosols by TiO₂-coated membrane. *International Journal of Chemical Reactor Engineering* 2005; 3: 1-15.
25. Tai-Cheng A, Xi-Hai Z, Ya X. Feasibility study of photoelectrochemical degradation of methylen blue with three-dimension of electrode-photocatalytic reactor. *Chemosphere* 2002; 46: 897-903.
26. Gao B, Peng C, Z.Chen G, Li Puma G. Photoelectrocatalysis enhancement on carbon nanotubes/ titanium dioxide (CNTS/TiO₂) composite prepared by anovel surfactant wrapping. *Applied catalysis B: Environmental* 2008; 85: 17-23.
27. Bergman H, Iourtchouk T. Schops K, Bouzek K. New irradiation and direct electrolysis-promising methods for water disinfection. *Chemical Engineering* 2002; 89: 111-117.